

放射線透過試験データに基づく鋼床版現場溶接継手における内部きずの発生傾向分析

東京都立大学 学生会員 ○藤田 理沙 東京都立大学 正会員 村越 潤
(国研) 土木研究所 正会員 高橋 実 (一財) 港湾空港総合技術センター 町田 文孝

1. はじめに

鋼床版デッキプレート(以下、デッキ)の現場接合には、舗装への配慮、水密性の確保、死荷重軽減等から、一般に現場溶接が採用されており、これまで現場溶接の採用実績とともに溶接技術や品質管理の向上等が図られてきた。一方で、2012年の道路橋示方書の改定では、疲労の観点からデッキの板厚が12mmから16mmに増厚され溶接パス数も変化しており、現在のデッキ厚における内部きずの発生傾向を把握することは品質確保の観点から重要と考えられる。本文では、最近建設された鋼床版橋現場溶接における非破壊検査データを基に、板厚、溶接方法など各種条件によるきず発生傾向について分析した結果を報告する。

2. 整理分析の対象・方法

対象橋梁は、鋼3,4径間連続鋼床版箱桁(3径間:1橋(全長500m),4径間:3橋(全長303m,292m,289m))である。デッキの鋼種はSM400,SM490Yであり、デッキの完全溶込み開先溶接継手(縦・横方向突合せ継手)を対象とした。これらの継手にはデッキ厚 t_d が12~16mm(開断面リブ)と、16

表-1 整理分析データの概要

工区	施工会社	溶接延長 (mm)	全フィルム数 (枚)	デッキ 板厚 (mm)	溶接箇所	溶接方法	フィルム 数(枚)	きず フィルム 数(枚)	不合格 フィルム 数(枚)	きず数 (個)	不合格 きず数 (個)
Ⅱ	E・F社	626,500	1,052	12	橋軸方向	SAW***	680	69	0	86	0
				CO ₂ 半自動溶接**		225	37	1	63	1	
				SAW***		98	5	0	8	0	
				CO ₂ 半自動溶接**		48	5	0	5	0	
Ⅲ-2	G・H社	922,000	1,146	12	橋軸方向	SAW***	1,146	33	2	33	2
Ⅲ-1		881,200	3,406	12	橋軸方向	SAW***	3,310	318	0	319	0
				14	橋軸方向	SAW***	96	3	0	3	0
				16	橋軸方向	SAW***	568	156	45	160	45
Ⅵ	I社	961,000	1,737	16	橋軸・橋軸 直角方向	CO ₂ 半自動溶接**	548	95	28	100	29
				18,25,27	橋軸・橋軸 直角方向		621	183	49	194	49
				16	橋軸方向		SAW***	364	57	1	57
	J社	763,000	1,256	16	橋軸・橋軸 直角方向	CO ₂ 半自動溶接**	480	93	17	94	17
				21,25	橋軸・橋軸 直角方向		412	81	11	83	12
				21,25	橋軸・橋軸 直角方向		412	81	11	83	12
合計		4,153,700	8,597	—	—	—	8,596	1,135	154	1,205	156

* フィルム有効長を250mmとした場合の概略値

** 炭酸ガスシールドアーク溶接の半自動溶接 *** サブマージアーク溶接

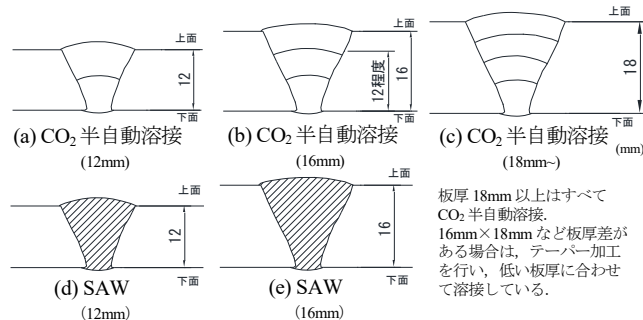


図-1 溶接方法別の突合せ継手の断面イメージ

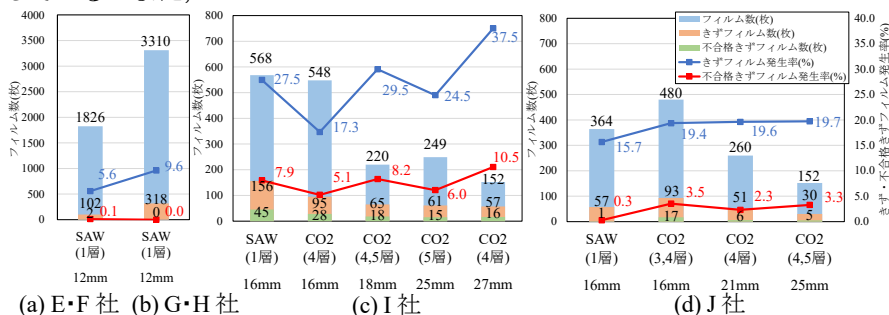
~27mm(閉断面リブ)の部位が含まれる。内部きず検査については現行基準^{1),2)}に従い放射線透過試験により抜取り検査が実施されているが、一部の箇所(工区①)のSAW溶接の $t_d=15\text{mm}$, CO₂半自動溶接の $t_d=12,16\text{mm}$, 工区③の全線, 工区④の橋軸方向で $t_d=18\text{mm}$ 以上の箇所、不合格きずが連続して見つかった溶接線)では全線検査が実施されている。なお、工区①,②,③は現場溶接, 工区④はヤード溶接であり、いずれも縦・横方向継手の交差部では十字交差が採用されている。きずデータを、属性(施工会社、溶接箇所・方法など)や内部きず情報(きずの種類・寸法、合格判定結果など)により整理を行い、きず発生傾向との関係を分析した。内部きず寸法の許容値は、 $t_d/6$ (t_d :板厚)であり、12,16mm厚では3mmであるが、それ以上の板厚も含め3mmに統一して分析した。表-1に、施工会社別の撮影フィルムの内訳、きず数等データ概要を示し、図-1に溶接方法別の継手の断面イメージを示す。なお、表-1中のきずフィルム数は、1枚中に複数きずが存在する場合でも1枚としている。また、

E・F社の12,16mm厚のCO₂半自動溶接部(以下、CO₂部)と15mmのSAW溶接部(以下、SAW部), G・H社の14mm厚のSAW溶接部はデータ数が少ないため分析対象(図-2,3)から除いた。

3. 分析結果と考察

(1) 溶接方法・板厚別の傾向

図-2に、各社の溶接方法・板厚別のきず・不合格きずフィルムの数量、及びきず・不合格きずフィルム発生率(%)を



注) フィルム数=きずなしフィルム数+きずフィルム数, きずフィルム数=合格きずフィルム数+不合格きずフィルム数
・きずフィルム発生率(%)=きずフィルム数/フィルム数, 不合格きずフィルム発生率(%)=不合格きずフィルム数/フィルム数
・SAW: サブマージアーク溶接, CO₂: CO₂半自動溶接
・板厚差がある場合には低い板厚に分類している。
・各図の右縦軸(不合格きずフィルム発生率(%))は、全社共通であり図(d)に示す。

図-2 各社の溶接方法・板厚別のきず・不合格きずフィルム発生率

キーワード: 鋼床版, デッキプレート, 現場溶接継手, 放射線透過試験, 内部きず

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL: 042-677-2782 E-mail: fujita-risa@ed.tmu.ac.jp

示す。デッキ厚が 12mm の E・F 社、G・H 社(図(a),(b))の不合格きずフィルム発生率は、いずれも 0.1%以下と非常に小さく、施工会社は異なるが 16mm 以上の溶接部と比較しても低くなっている。板厚 16~27mm の I 社(図(c))では、CO₂ 部において増厚につれて、きず・不合格きずフィルム発生率ともにやや増加する傾向が見られる。また、板厚 16~25mm の J 社(同図(d))では、板厚 16mm の SAW 部では不合格きずフィルム発生率が低く、CO₂ 部では板厚増加による差異は小さい。規則性なくきずが発生すると仮定した場合、板厚が厚く、溶接パス数や入熱量が増えるほど、きず発生率は大きくなると予想されるが、施工会社によって発生傾向が異なる結果となっている。

施工会社別に見ると、I 社の不合格きずフィルム発生率は、同一溶接方法・板厚の J 社と比較して高い。特に板厚 16mm を 1 パスで溶接している SAW 部での差が大きい。この溶接方法では入熱量が制限値に近くなるため、電流、電圧の安定性確保や開先面の品質管理などに注意が必要である。詳細は省略するが、特定の溶接線及び溶接作業員において不合格きずフィルム発生率が高い傾向がみられ、施工管理、作業員の技量差が影響したものと考えられる。

(2) 溶接箇所(中間部・始末端部)別の傾向

図-3 に、中間部と始末端部における、きず・不合格きずフィルム発生率(%)を示す。板厚 16mm に関して、CO₂ 部の I, J 社では、中間部よりも、電流、電圧が不安定となる場合がある始末端部の方が不合格きずフィルム発生率が高くなっている。一方、SAW 部の I 社では中間部の方が高くなっており、前述のとおり 1 パスでの溶接がきず発生に影響している可能性が考えられる。

(3) きず種別の傾向

図-4 に 6 社の全データについて、きず種別の発生状況(フィルム数)を示す。きず全体ではブローホールの割合が 79.1%と高いが、不合格きずでは、ブローホール(30.5%)、融合不良(30.5%)が同じ割合となっており、スラグ巻き込み(20.1%)、パイプ(18.8%)の割合も高くなった。なお、疲労の観点から注意すべき割れについては、今回の分析データには含まれていなかった。

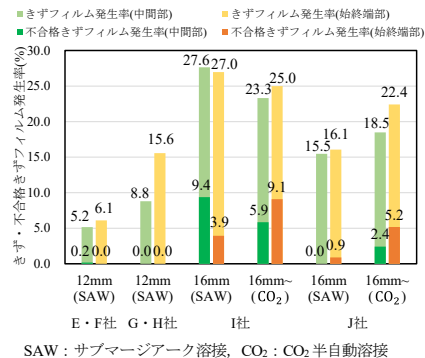
図-5 に I, J の 2 社について、溶接箇所別に、きず種別の寸法を比較して示す(E・F 社はブローホール、パイプのみ発生しており、3mm 以下のきずがほとんどのため除く)。ブローホールとパイプは寸法の小さいきずが多い一方で、融合不良はすべて 3mm 以上の不合格きずであり、最大 150mm である。また、本橋では検出されていない溶込み不足も、別橋梁での分析結果³⁾では、すべて 3mm を超えており大きいきずになりやすい傾向がある。

板厚別では(CO₂ 部の板厚 16mm と 18, 21mm 以上で比較)、スラグ巻き込みやパイプ、ブローホールは 2 社で傾向が異なるが、融合不良は 2 社(中間部)とも、板厚の大きい場合に、寸法の大きいきずが発生している。溶接方法別に比較(板厚 16mm の SAW 部と CO₂ 部で比較)すると、スラグ巻き込み、パイプ、ブローホールに関して明確な違いは見られなかったが、融合不良は SAW 部で多い傾向が見られた。融合不良は金属間の未融合であり、溶接狙い位置の不適切さや前パスの形状不良等に起因するため、自動溶接である SAW 溶接や板厚の大きい箇所が多く発生したと考えられる。

4. おわりに

本橋の場合、溶接の施工プロセスも含めた受け入れ品質確認を第三者機関で実施しているため、他の鋼床版橋のきず発生傾向とは多少異なる可能性も考えられ、今後、他の鋼床版橋の検査結果との比較も重要と考えられる。

参考文献 1) 道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋・鋼部材編, pp.559-567, 2017.11. 2) 藤原他: 道路橋示方書Ⅱ鋼橋編の改訂概要, 土木技術資料, Vol.32-6, pp.31-53, 1990.6 3) 高橋他: 鋼床版現場突合せ溶接継手の放射線透過試験データに基づく内部きずの発生傾向分析, 土木学会第 75 回年次学術講演会概要集, I-39, 2020.



SAW: サブマージアーク溶接, CO₂: CO₂ 半自動溶接

図-3 溶接箇所別のきず・不合格きずフィルム発生率

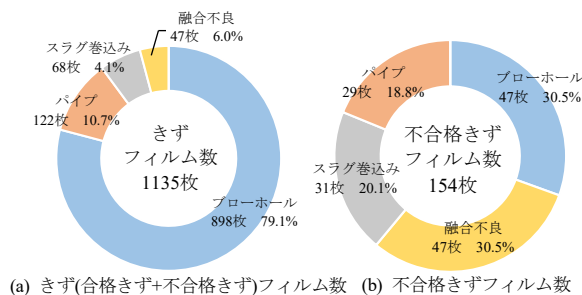


図-4 きず種別の発生状況

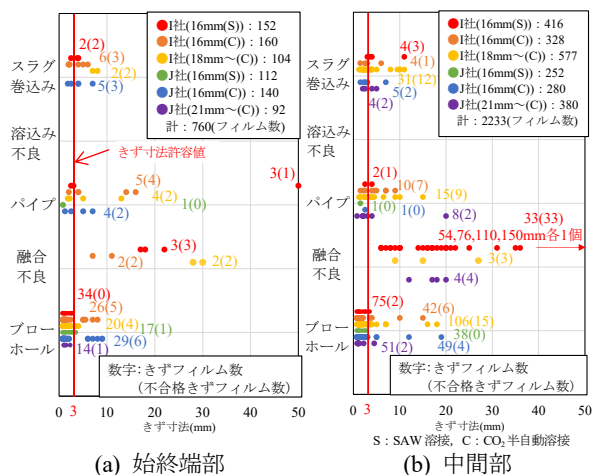


図-5 きず種別の寸法分布